

予測降雨を用いた既存ダムの洪水調節機能を向上させる手法の効果検証

中央大学大学院 学生員 ○北田 悠星 中央大学 正会員 岡部 真人  
中央大学 フェロー会員 山田 正

1. 目的

治水計画においてダムは重要な役割を担う。以前より著者らは既存ダムを現況以上に有効活用するため、洪水前に一時的に利水容量を減らし治水容量を増大させて洪水を防ぎ、且つ洪水終了後には利水容量を確保するという事前放流手法を提案してきた<sup>1),2)</sup>。その手法を表-1に示す。この中で手法3の予測降雨を用いた事前放流手法は、早期から事前放流を開始できるという特徴を持つ一方、実測降雨が外れると利水容量が回復しない危険性を持つ。本研究では予測降雨に対し実測降雨が外れた場合における、予測降雨を用いた事前放流手法の効果を検証する。

2. 解析対象ダムの諸元

本研究では渡良瀬川上流の草木ダム(流域面積 254km<sup>2</sup>)にて解析を行った。草木ダムの洪水時操作は一定率一定量調節方式で、ピーク流入量 640m<sup>3</sup>/s に達するまでの一定率操作における放流量は式(1)より算出する。

$$Q_{OUT}(t) = (Q_{IN}(t) - Q_A) \times \alpha + Q_A \quad (1)$$

$Q_{OUT}(t)$ : ダム貯水池からの放流量(m<sup>3</sup>/s),

$Q_{IN}(t)$ : ダム貯水池への流入量(m<sup>3</sup>/s),  $Q_A$ : 洪水調節開始流量(m<sup>3</sup>/s),  $\alpha$ : 一定率操作の定数。草木ダムでは  $Q_A=500$ ,  $\alpha=0.1$  と定義している。ダムが満水に近づくと流入量と同じ量を放流するただし書き操作を行う。

3. 予測降雨を用いた事前放流量の決定手法

3-1 総降雨量方式: 予測降雨を用いた事前放流手法で使用する総降雨量方式では洪水発生要因となる降雨情報を得て、現時点以降のダム貯水池への流入量を算出する。貯水池における流入量、放流量に関して式(2)に示す連続式を満たすように放流量  $Q_{OUT}(t)$  を決定する。 $V(t)$ : 現時点(=時刻  $t$ )以降のダム貯水池への総流入量(m<sup>3</sup>),  $Q_{IN}(t)$ : ダム貯水池への流入量(m<sup>3</sup>/s),  $Q_{OUT}(t)$ : ダム貯水池からの放流量(m<sup>3</sup>/s),  $R(t)$ : ダム流域における降雨開始時刻からの累積降雨量(mm)である。式(2)を時間  $t$  で微分し  $dR/dt=r(t)$  の関係を用いると式(3)が得られる。 $r(t)$ : 時々刻々の降雨量(mm/h)である。

$$-\int_0^t (Q_{IN}(t) - Q_{OUT}(t)) dt = V(R(t)) \quad (2) \quad Q_{OUT}(t) = Q_{IN}(t) + \frac{dV(t)}{dR(t)} \cdot \frac{dR(t)}{dt} = Q_{IN}(t) + \frac{dV(t)}{dR(t)} \cdot r(t) \quad (3)$$

式(3)において、図-1に示す草木ダム流域における累積降雨量と総直接流出量の関係を用いて  $dV/dR$  を決定し、放流量を算出する。相関図では目的に応じて平均値ライン (LineA), 治水に有利なライン (LineB), 利水に有利なライン (LineC) を定義して用いることができる。本方式では降雨開始時を時刻  $t=0$  と定義するが、実際の降雨に伴う流出はある閾値に達してから始まる。この閾値を RSA と定義し、累積降雨量が RSA に到達した時刻を時刻  $t=0$  とした。草木ダム流域における RSA は平均して 46mm である。貯水位に関しては式(5)より算出可能であり、利水容量の安全性も同時に確認できる。

$$A(h) \frac{dh(t)}{dt} = Q_{IN}(t) - Q_{OUT}(t) \quad (5) \quad A(h): 湛水面積(m<sup>2</sup>),  $h(t)$ : 貯水位(m)である。$$

3-2 予測降雨を取り入れた総降雨量方式: 予測降雨を用いる総降雨量方式では累積降雨量を(5)式より求め、これを(4)式の時間  $t$  の変数を置き換えた (6)式に代入して放流量を算出する。

$$R(t') = R_o(t') + R_f(t') + C \quad (5) \quad Q_{OUT}(t) = Q_{IN}(t) + \frac{dV(t')}{dR(t')} \cdot r(t') \quad (6)$$

$t$ : 現時刻,  $t'$ :  $t' = t + n$ , ただし  $n = 1, 2, \dots, 6$ [hours] (気象庁の降水短時間予報における予報先行時間),  $R_o(t')$ : 現時刻

表-1 提案する事前放流手法

	手法名	現時刻以降のダム貯水池への流入量を推測する際に使用する水文情報	特徴
手法1	逓減特性方式	現時刻までのダム貯水池への実測流入量	現時刻以降にダム貯水池へ流入する量を確実に事前放流できる
手法2	実測降雨を用いた総降雨量方式	現時刻までの実測降雨	現時刻以降にダム貯水池へ流入する量を確実に事前放流できる
手法3	予測降雨を用いた総降雨量方式	予測降雨, 現時刻までの実測降雨	より早い時刻から事前放流を開始できる

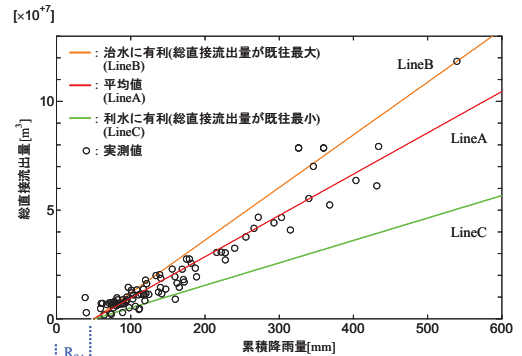


図-1 ダム流域における総降雨量  $R(t)$  と総直接流出量  $V(R(t))$  の関係

までの実測降雨量の累積値、 $Rf(t)$ ：現時刻  $t$  において予報された  $t'$  時間先までの予測降雨の累積値、 $C$ ：時刻  $t-1$  と時刻  $t$  の1時間の間に降った実測の単位時間雨量と同時間に降ると予測された予測降雨量の差である。

4. 実際の洪水調節への適応

4-1 解析概要：予測降雨を用いた事前放流手法を実際のダムと洪水のデータを用いて解析を行い、実際の洪水における実測降雨量を小さくしていき、予測降雨を用いた事前放流操作において利水容量を確保できる限界を探り、適応範囲の大きさを知る。対象洪水は2007年の台風9号である。

4-2 解析条件：それぞれ図-3, 4, 5に実測降雨を1/1, 1/4, 1/5に变えた場合の6時間先までの予測降雨を用いた事前放流量を算出した際の流入量，放流量，貯水位の時系列を示す。総降雨量方式で用いる相関図(図-1)ではそれぞれ平均ラインを用いて計算した。提案する事前放流手法において洪水調節開始流量に到達以降は現行の操作規則に従う。

4-3 解析結果：図-3を見ると現行操作はただし書き操作に移行しているが、予測降雨を用いた事前放流手法は事前放流を行ったことでダム貯水池への流入が卓越する前に治水容量を増大させて洪水調節に成功し、洪水終了後には利水容量を確保している。図-4は実測降雨を実際の1/4にした場合の予測降雨を用いた事前放流操作である。この場合、予測降雨に対し想定された実測降雨が得られなかったが、貯水池への実測流入量の溜め込み操作を行うことによって利水容量を回復させることに成功している。図-5は実測降雨を実際の1/5にした場合である。この場合、実測流入量の逡減部で溜め込み操作を行っても利水容量を回復させることができなかつた以上より本ケースの場合、実測降雨を1/4にした場合が限界であったが、他にも利水ラインを用いるなど多くの選択肢があり、実務における本理論の適応は十分に可能であることが示せた。

5. 結論

以下に得られた知見を列挙する。

- (1) 予測降雨を用いた事前放流手法はより早い時間から事前放流を開始して治水容量を大幅に確保でき、最大6時間前から洪水に備えることが可能であることを示した。
- (2) 予測降雨に対し想定された実測降雨が得られない場合でも、予測降雨を用いた事前放流操作が可能であることを示せた。

以上より著者らが提案する事前放流手法は、ゲート操作に3時間程度の準備時間がかかる現状において非常に有効であり、現実的な放流手法と考えられる。

<参考文献>1)北田悠星, 菊地慶, 岡部真人, 山田正：気象庁の降水短時間予報を用いて既存のダムの洪水調節機能を向上させる手法の提案, 水工学論文集, pp.523-528, 2010. 2)下坂将史, 呉修一, 山田正, 吉川秀夫：既存ダム貯水池の洪水調節機能向上のための新しい放流方法の提案, 土木学会論文集B, Vol.65, No.2 pp.106-122, 2009.

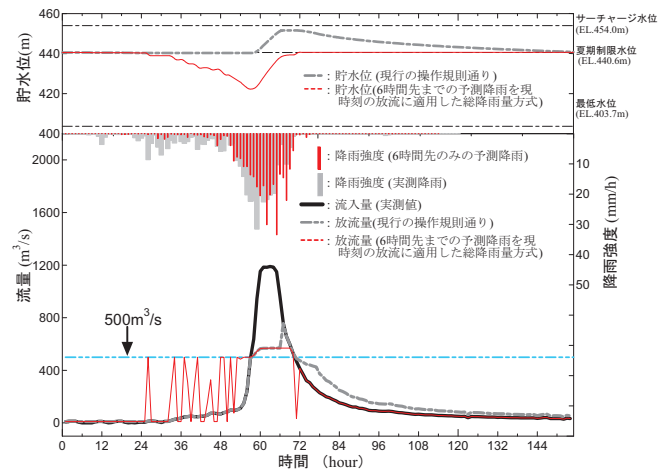


図-3 6時間先までの予測降雨を用いた事前放流手法における洪水時の流入量・放流量及び貯水位の時系列(実測降雨1/1)

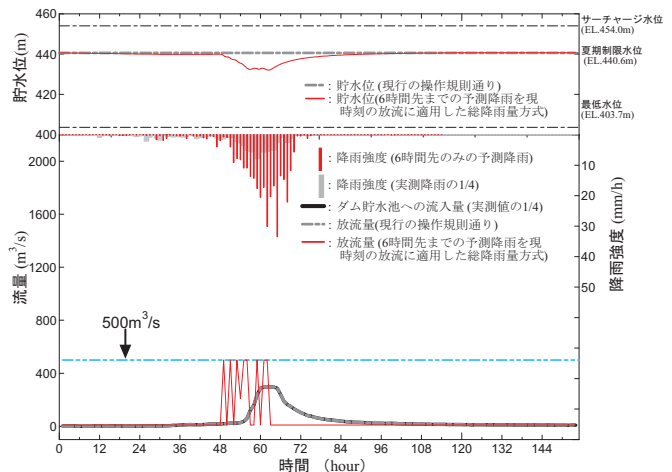


図-4 6時間先までの予測降雨を用いた事前放流手法における洪水時の流入量・放流量及び貯水位の時系列(実測降雨1/4)

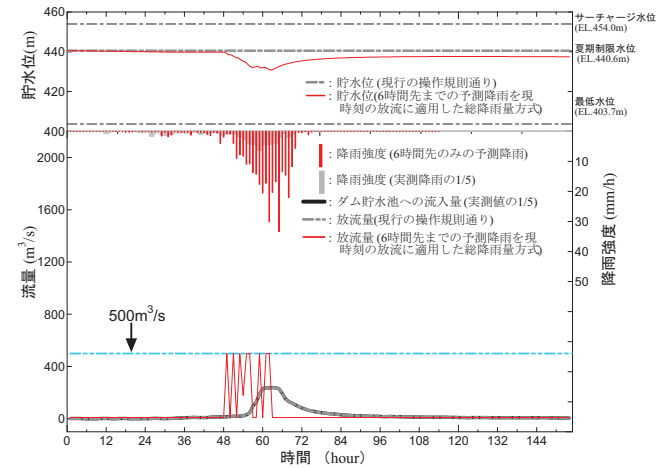


図-5 6時間先までの予測降雨を用いた事前放流手法における洪水時の流入量・放流量及び貯水位の時系列(実測降雨1/5)